Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall - Winter 2021, p. 213-230

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۲۳۰-۲۱۳

مقاله علمی-پژوهشی

مطالعه برخی از آلاینده‌های موتور انژکتوری بنزینی با سوخت ترکیبی بنزین، اتانول و نانو ذرات کربنی

مهدی ملک محمدی[1]، مجید رهنما[2]*، سامان آبدانان مهدی زاده[2]، نواب کاظمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴

چکیده

استفاده از سوختی جایگزین بنزین و همچنین کاهش آلاینده‌های خروجی در موتور اشتعال جرقه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا در این پژوهش از ترکیب اتانول با بنزین (در پنج سطح، ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) به‌عنوان سوخت تجدیدپذیر و از نانو ذرات کربنی (در سه سطح ۰، ۲۰ و ۸۰ پی‌پی‌ام) به‌عنوان کاتالیزور در یک موتور انژکتوری بنزینی (در دورهای ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه) مصرف شدند. آزمایش‌ها در سه تکرار و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و اکسیژن و برخی از آلاینده‌های موتور از قبیل صدا، مونو اکسید کربن، هیدروکربن‌های نسوخته و دی‌اکسید کربن خروجی موتور اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش مصرف اتانول مقدار تولید مونو اکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته کم می‌شود. همچنین مقدار تولید اکسیژن و دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. افزودن نانو ذرات کربنی باعث کاهش صدای موتور در دورهای بالا (در دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مقدار صدا از ۸۲/۱۷ دسیبل با بنزین خالص به ۷۹ دسیبل در مخلوط بنزین با ۸۰ پی‌پی‌ام نانو ذرات کربنی) می‌شود. نتایج نشان داد استفاده از سیستم تزریق هوا به اگزوز قبل از کاتالیست نسبت به تیمار بنزین خالص، ترکیب‌های مختلفی از ۸۰ پی‌پی‌ام نانو ذرات کربنی و همچنین اتانول صفر درصد برتری دارد.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، اتانول، صدا، موتور بنزینی، نانو ذرات کربنی

مقدمه

آلودگی یکی از مسائل بسیار مهم جهانی و مورد توجه محققین در زمینه‌های مختلف زیست‌محیطی می‌باشد؛ آلودگی را می‌توان به آلودگی آب، خاک و هوا تقسیم‌بندی نمود. هدف اصلی محققین اندازه‌گیری و بررسی عوامل تولید آلودگی و نهایتاً یافتن راه‌های کاهش این آلاینده‌ها است (Rizwanul *et al.*, 2013). آلاینده‌های خروجی از خودروهای بنزینی شامل مونو اکسید کربن، هیدروکربن‌های نسوخته، اکسید نیتروژن و ذرات معلق می‌باشند که این مواد تاثیرات بدی بر بدن انسان دارند. در یک احتراق کامل از اگزوز دی‌اکسید کربن+ آب+ نیتروژن خارج می‌شود. ولی در عمل فرآیند احتراق به‌طور کامل صورت نمی‌گیرد و ترکیباتی شامل هیدروکربن‌های نسوخته+ اکسیدهای نیتروژن+ مونو اکسید کربن+ دی‌اکسید کربن+ آب از اگزوز خارج می‌شود (Ogur and Kariuki, 2014). آلاینده‌های خروجی از موتور خودروهایی که با سوخت‌های فسیلی کار می‌کنند عوارض زیادی در بدن انسان برجای می‌گذارند. به‌عنوان مثال مونو اکسید کربن وارد خون فرد شده، در یک محیط بسته باعث خفگی و مرگ می‌شود یا هیدروکربن‌های نسوخته سرطان‌زا هستند (Kampa and Castanas, 2008). از سوی دیگر سر و صدای موتور که در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی در موتور ایجاد می‌شود، می‌تواند سبب بروز مشکلاتی در بدن انسان گردد. در شرایطی بحرانی متوسط شدت صدا در شبانه‌روز نباید از ۸۰ دسیبل فراتر رود. افزایش شدت صدا بر سلامتی تمام انسان‌ها به‌خصوص کودکان تاثیر بسیاری دارد. حدود ۹۰ درصد از سرچشمه‌های آلودگی صوتی در شهرهای بزرگ، اتومبیل‌ها هستند (Smagowska, 2013). امروزه تاثیر مستقیم و غیر مستقیم فن‌آوری نانو بر محیط‌زیست، بر کسی پوشیده نیست و در حال حاضر تحقیقات زیادی بر روی تاثیر فناوری نانو در خودروها بر روی آلودگی‌های مختلف صورت گرفته است که یکی از آن‌ها افزودن نانو به سوخت می‌باشد (Lines, 2008). جامعه جهانی می‌بایست مقادیر گازهای گلخانه‌ای را از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ میلادی به میزان ۱۵ درصد کاهش می‌داد و از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۵ میلادی به میزان ۳۰ درصد و از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۵۰ میلادی به میزان ۸۰ درصد کاهش دهند. از جمله راهکارهای پیشنهادی که توسط محققین مطرح شده می‌توان به افزایش مصرف اتانول در بنزین؛ جایگزینی سوخت‌هایی مانند سوخت بیودیزل، متانول و بوتانول و یا تزریق گاز به هوای ورودی موتور (Ghari *et al.*,

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی
۲- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی
(*- نویسنده مسئول: Email: rahnamam2002@asnrukh.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v11i2.76903

2015) یا خروجی از اگزوز اشاره نمود. در سال‌های اخیر استفاده از الکل، به‌عنوان سوخت موتورهای درون‌سوز به‌تنهایی و یا به‌صورت ترکیب با سایر سوخت‌های دیگر به دلیل داشتن مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی درازمدت نسبت به سوخت‌های فسیلی، بیشترین توجه را به خود جلب نموده است. با توجه به مطالب بالا لازم است تاثیر نانو ذرات به‌عنوان افزودنی و همچنین اتانول با هم بر روی موتور بررسی گردد. لذا در تحقیق حاضر تاثیر این افزودنی‌ها بر مقدار آلایندگی صدا و اگزوز مورد بررسی قرار گرفته است.

مشکلات و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی باعث شده که محققان و صنعت‌گران به سمت استفاده از سوخت‌های با منشاء زیستی (منشاء قندی و منشاء روغنی) سوق پیدا کنند (Pang *et al*., 2008; Mirzadeh, 2017). تحقیقات گسترده‌ای جهت بررسی و کاهش آلودگی‌های صوتی و گازهای خروجی از اگزوز در جهان و ایران با استفاده از سوخت‌های زیستی انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. سوخت‌های الکلی با منشاء قندی شامل اتانول و متانول، سوخت بنزینی و سوخت‌های با منشاء روغنی که سوخت بیو دیزل می‌باشند، با ترکیب ۳۰٪ الی ۷۰٪ از سوخت بیو دیزل و الکلی و مصرف آن‌ها در موتورهای دیزل و بنزینی به مقدار قابل‌توجهی آلاینده‌های خروجی موتور کاهش می‌یابد (Lapuerta *et al*., 2008). در جدول ۱ مشخصات سوخت‌های متانول، اتانول و بنزین ذکر شده است (Elfasakhany, 2015).

جدول ۱- خواص سوخت‌های اتانول، متانول و بنزین (Elfasakhany, 2015)

Table 1- Properties of ethanol, methanol and gasoline

مشخصات **Characteristics**	متانول **Methanol**	اتانول **Ethanol**	بنزین **Gasoline**
فرمول مولکولی Molecular formul	CH3OH	C2H5OH	C4H10- C12H26
وزن مولکولی Molecular Weight	32	46	95–120
محتوای اکسیژن (٪) Oxygen content (%)	50%	34.8%	0
چگالی ($kg\ m^{-3}$) Density	792	785	740
عدد اکتان Octane number	111	108	>90
نقطه اشتعال خودکار (^oC) Auto ignition point	465	425	228-470
نسبت استوکیومتریک (A/F) Stoichiometric ratio	6.67	9	14.8
گرمای نهان بخار ($kJ\ kg^{-1}$) Steam latent heat	1103	840	305
نقطه جوش (^oC) Boiling point	64	78	38-204

در پژوهشی به مطالعه ترکیبات اتانول و بنزین با درصدهای مختلف اتانول در موتوری با نسبت تراکم متغیر پرداخته شد. بر اساس نتایج مشخص گردید که افزایش مقدار اتانول باعث افزایش عدد اکتان و کاهش ارزش حرارتی سوخت می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که اضافه کردن ۱۰٪ اتانول، بیشترین تأثیر را بر روی افزایش عدد اکتان دارد (Abdel- Rahman and Osman, 1997). در پژوهشی دیگر، تأثیر ترکیب اتانول – بنزین در ۱۰ نسبت مختلف بر عملکرد موتور بررسی گردید. مقدار اتانول در هر ترکیب از محدودهٔ ۰–۲۵٪ با نسبت ۲/۵٪ افزایش می‌یافت. مطابق با نتایج به‌دست آمده مشاهده گردید که قدرت موتور، بازده حرارتی و بازده تنفسی با افزایش متانول افزایش می‌یابد. علاوه بر این CO و HC موتور نیز کاهش، CO_2 افزایش یافت (Al-Hasan, 2003). در پژوهشی که روی یک موتور دو سیلندر بنزینی انجام شد مقدار ۲۵٪ اتانول را با ۷۰٪ بنزین و ۵٪ روغن ترکیب و در دور موتور ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ دور بر دقیقه توان و آلاینده‌های خروجی موتور را اندازه‌گیری شد (Keskin, 2010). نتایج نشان داد که در دور ۱۵۰۰ دور بر دقیقه گشتاور موتور ۵/۵ نیوتن متر و در ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به ۶ نیوتن متر و در دور ۲۵۰۰ دور بر دقیقه به ۷ نیوتن متر رسید. همچنین اکتان سوخت افزایش و مقدار سولفور کاهش یافت و در نتیجه اکسیژن بیشتری برای موتور ایجاد شد. البته لرزش موتور در دور ۱۵۰۰ دور

بردقیقه کم ولی در دور ۲۵۰۰ دور بر دقیقه افزایش یافت. در پژوهشی دیگر از ترکیب نانو اکسید سریم با سوخت بیودیزل در یک موتور احتراق تراکمی (دیزل) تک سیلندر استفاده شد و مقدار ۲۰ و ۸۰ پی پی ام از نانو ذرات اکسید سریم در موتور با دور ۱۵۰۰ دور بر دقیقه استفاده گردید (Sajith *et al.*, 2010). نتایج نشان داد با افزایش مقدار نانو ذرات، مقدار گازهای آلاینده کاهش یافت. در پژوهشی آلاینده‌های خروجی موتور در حال کار با ۰ الی ۸۵ درصد اتانول همراه بنزین بدون سرب (با نسبت تراکم موتور ۱۰:۱) بررسی و مشخص شد که به دلیل مقدار بالای اکتان اتانول، نسبت به بنزین با افزایش مقدار اتانول گشتاور ترمزی موتور بدون کوبش و ضربه‌زنی افزایش می‌یابد. همچنین مقدار آلاینده‌های موتور (مونو اکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن) با افزایش درصد اتانول کاهش می‌یابد (Sarkar, 2012). در پژوهشی دیگر ارتعاش و ضربه‌زنی یک موتور تراکتور شش سیلندر دیزلی با ترکیب اتانول با سوخت دیزل و بیودیزل و درصدهای ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ با سوخت دیزل در دوره‌های ۱۶۰۰، ۱۷۰۰، ۱۸۰۰، ۱۹۰۰ و ۲۰۰۰ دور بر دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. در نتایج تحقیقات آن‌ها بیشینه قدرت موتور در دورهای بین ۱۶۰۰ و ۱۷۰۰ برای تمامی‌سوخت‌ها و کمترین گشتاور در دور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به‌دست آمد و دلیل آن پاشش نامنظم انژکتورها ذکر شد. همچنین اعلام شد که با افزایش بیو دیزل قدرت موتور افزایش و با افزایش بیو اتانول قدرت موتور کاهش می‌یابد (Taghizadeh and Rezaei, 2016). در تحقیقی دیگر، در یک موتور بنزینی اتانول با درصدهای مختلف ۰ الی ۶۰ درصد با بنزین ترکیب و در نسبت تراکم‌های مختلف موتور (از ۸:۱ تا ۱۳:۱) ارزیابی شد (Thakur *et al.*, 2017). در نسبت تراکم ۱۳:۱، بیشترین گشتاور خروجی در اتانول ۶۰ درصد به‌دست آمد و با افزودن اتانول به بنزین موتور به‌خوبی کار کرده و موتور کوبش نداشت.

سر و صدای موتور به دو دسته کلی تقسیم می‌شود که یکی از آن‌ها به طراحی موتور و دیگری به نحوه احتراق آن ارتباط دارد. اغتشاش‌های مربوط به احتراق هنگام انفجار مخلوط بنزین و هوا در اثر کم بودن میزان اکتان بنزین ایجاد می‌شوند و باعث تولید صدا و ضربه‌زنی در موتور می‌شود. از نظر طراحی، در موتورهای جدید برای کم کردن صدا از سیستم‌هایی نظیر زمان‌بندی متغیر سوپاپ استفاده می‌شود. این سیستم در دورهای بالا باعث پیش افتادن زمان باز شدن سوپاپ‌های ورودی شده و میزان صدای موتور را کاهش می‌دهد (Broatch *et al.*, 2016).

در تحقیقی که بر روی یک موتور دیزل انجام شد، برای عمر بیشتر سنسور اکسیژن، از یک سنسور فیبر نوری استفاده شده که قابلیت اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن را داشت و این سنسور مکمل سنسور اکسیژن بود و با اندازه‌گیری مقدار دی‌اکسید کربن خروجی از اگزوز کیفیت احتراق موتور را تشخیص می‌داد (Clifford *et al.*, 2008). تزریق هوای تازه به خروجی اگزوز و نزدیک سوپاپ‌های خروجی باعث افزایش درجه حرارت مبدل کاتالیستی می‌شود و در نتیجه آلاینده‌های خروجی اگزوز کم می‌شود (Anonymous, 2012). تحقیقات نشان داده است که تزریق مستقیم هوای ثانویه به اگزوز بر اکسیداسیون مواد جامد درون دود تاثیرگذار است و تزریق هوا به دود خروجی اگزوز باعث کاهش حجم ذرات معلق درون دود اگزوز می‌شود (Pritchard and Wai, 2015). اکسیژن (O_2) تزریق شده در هوای ورودی به دود خروجی اگزوز با هیدروکربن‌های نسوخته (HC) و مونو اکسید کربن (CO) خروجی از اگزوز ترکیب شده و آن‌ها را به آب (H_2O) و دی‌اکسید کربن (CO_2) تبدیل می‌کند (Sathesh and Loganathan, 2017).

مواد و روش‌ها

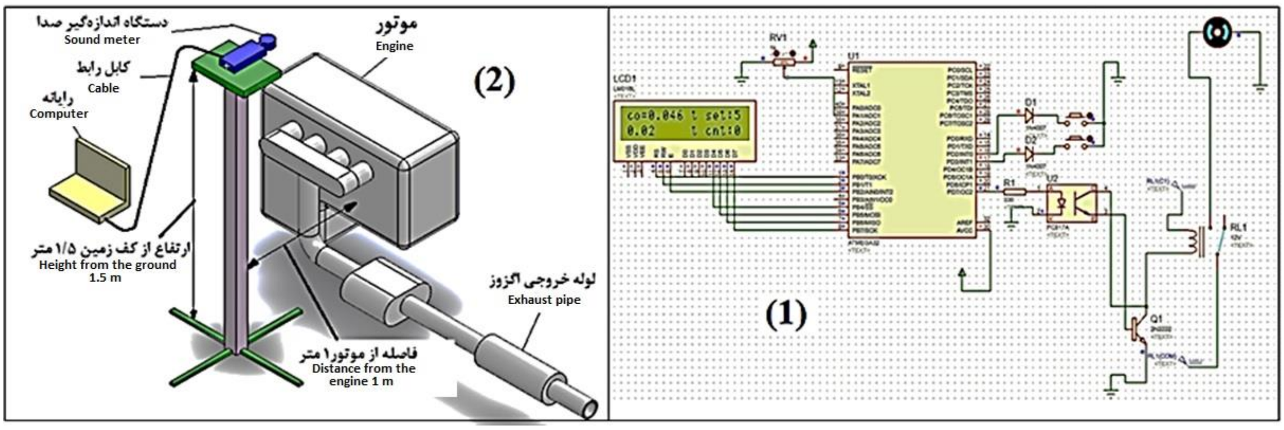
در این تحقیق جهت انجام آزمایش‌ها از ترکیبات مختلف اتانول (C_2H_5OH) تولیدی صنایع شیمیایی غدیر با خلوص ۹۹/۴٪) و نانو ذرات کربنی (C با خلوص ۹۵٪ ساخت کشور آمریکا) در دورهای مختلف موتور استفاده و آلاینده‌های خروجی اگزوز در مرکز معاینه فنی شماره یک اهواز کد ۲۲۰۱ اندازه‌گیری شد. همچنین سنجش صدای موتور در محل کارگاه مکانیک خودرو هنرستان فنی بیت‌المقدس اهواز واقع در ناحیه یک آموزش و پرورش انجام شد. موتور مورد استفاده در این تحقیق یک موتور خودرو چهار سیلندر انژکتوری بنزینی (B3) استفاده شده است که حجم سیلندر آن ۱۳۲۳ سی سی، نسبت تراکم آن ۹/۷:۱ توسط دستگاه کمپرس‌سنج، کمپرس سیلندرها اندازه‌گیری شد و مقدار آن‌ها بین ۱۳ تا ۱۴ ($kgf\ cm^{-2}$) ثبت شد که از این نظر کمپرس سیلندرها در حد استاندارد بودند. وسایلی و ابزاری که در این آزمایش استفاده شدند شامل دستگاه ۵ گاز سنجش آلاینده‌های خروجی اگزوز SPX مدل ultimax202 ساخت کشور فرانسه که قادر به اندازه‌گیری مونو اکسید کربن برحسب درصد حجم (%vol)، دی‌اکسید کربن برحسب درصد حجم (%vol)، هیدروکربن‌های نسوخته برحسب پی‌پی‌ام حجم (ppm vol)، اکسیژن خروجی اگزوز بر حسب درصد حجم (%vol) است، دستگاه اندازه‌گیر صدا EXTECH مدل EN300 ساخت کشور چین که این دستگاه که تراز فشار صوت (SPL) از ۲۵ تا ۱۴۰ دسیبل (db) را اندازه‌گیری می‌کند، ترازو سه صفر AND مدل GF300 برای وزن کردن و بسته‌بندی نانو ذرات کربنی، دستگاه عیب‌یاب (MP9011 شرکت مهاد صنعت) که برای اندازه‌گیری پارامترها و صحت عملکرد سیستم انژکتوری موتور مورد استفاده قرار گرفت و دستگاه کمپرس‌سنج موتور ساخت کشور چین می‌باشد.

برای انجام آزمایش‌ها باک مخصوصی تهیه شد که ترکیبات مختلف بنزین، اتانول و نانو ذرات کربنی در آن ریخته شد. این باک

مخصوص دارای مخزن سوخت، پمپ بنزین مجزا، شیلنگ ارسال سوخت، شیلنگ برگشت سوخت، سوکت سیم رابط پمپ بنزین باک مخصوص با سوکت برق خودرو، که با قطع سوکت برق ورودی پمپ بنزین خودرو، غیر فعال شده و سوکت برق پمپ بنزین باک مخصوص آزمایش به برق خودرو وصل می‌شد، تشکیل شده است. مخلوط سوخت درون باک ریخته شده با روشن شدن موتور، سوخت از باک مخصوص به موتور ارسال می‌شد. مقادیر هیدروکربن‌های نسوخته، مونو اکسید کربن، دی‌اکسید کربن و مقدار اکسیژن موجود در دود خروجی اگزوز توسط دستگاه پنج گاز اندازه‌گیری شد. همچنین دستگاه سنجش صدا در فاصله یک متری از موتور و در ارتفاع یک و نیم متری از سطح زمین جهت اندازه‌گیری شدت صدای موتور نصب گردید. در این آزمایش‌ها اتانول در پنج سطح: ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد (Thakur *et al.*, 2017) و نانو ذرات جامد کربنی در سه سطح: ۰، ۲۰ و ۸۰ پی پی ام (Karthikeyan *et al.*, 2014) با بنزین ترکیب شده و در دورهای ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه (دورهای پرکاربرد در موتور) در سه تکرار و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد استفاده قرار گرفت و تاثیر اتانول و نانو ذرات کربنی بر صدا و گازهای خروجی از موتور بررسی و مقادیر به‌دست آمده توسط نرم‌افزار spss مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

ساخت و اصول کار دستگاه سنجش مونواکسید کربن و تزریق هوا

در این تحقیق دستگاهی طراحی و ساخته شد که مقدار مونو اکسید کربن خروجی اگزوز را اندازه‌گیری و در نمایشگر نشان دهد و طوری برنامه‌ریزی شد که در صورت بالاتر بودن مقدار مونو اکسید کربن از مقدار تعیین شده ۰/۰۲ درصد، هوا را به اگزوز قبل از کاتالیست ارسال نماید تا مقدار مونو اکسید کربن تولیدی موتور کاهش یابد. البته ارسال هوا به کاتالیست بر اساس زمان‌بندی مخصوصی انجام می‌شد. زیرا در صورت ارسال بیش از حد هوا کاتالیست داغ و خطر آسیب رسیدن به این قطعه افزایش می‌یابد (دمای مطلوب کاتالیست بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است دمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه باعث خرابی مبدل کاتالیستی می‌شود (Anonymous, 2012)). دستگاه طوری برنامه‌ریزی شد که امکان تنظیم زمان ارسال هوا توسط آن وجود داشت. زمان ارسال هوا بین ۱ تا ۹ ثانیه تنظیم و ۷ ثانیه بین هر ارسال هوا وقفه ایجاد شد تا از داغ شدن کاتالیست جلوگیری شود. برای مثال اگر زمان ارسال هوا روی عدد ۹ ثانیه تنظیم شود به مدت ۹ ثانیه هوا به قبل از کاتالیست ارسال می‌شود. اگر مقدار مونو اکسید کربن از مقدار تعیین شده کمتر شود ارسال هوا قطع می‌گردد. ولی اگر این مقدار مونو اکسید کربن تولیدی با پمپاژ هوا کم نشود ۷ ثانیه در پمپاژ هوا وقفه ایجاد می‌شود تا از داغ شدن بیش از حد کاتالیست جلوگیری شود و مجدداً ۹ ثانیه تزریق هوا صورت می‌گیرد. این عمل تا زمانی ادامه دارد تا مقدار مونو اکسید کربن به مقدار معین شده کاهش یابد. در شکل (۱) طرح‌واره قطعات به‌کار رفته و روش اندازه‌گیری صدا مشاهده می‌شود.

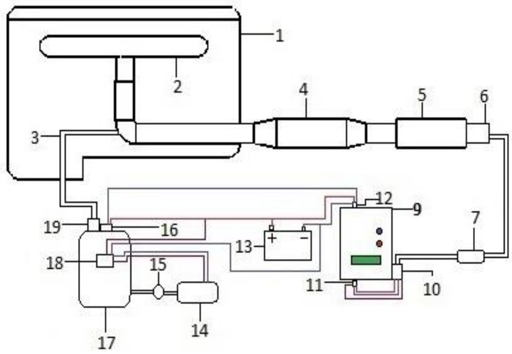


شکل ۱– تجهیزات استفاده شده در آزمایش‌ها، طرح‌واره مدار الکتریکی دستگاه و شماتیک قطعات برد (۱) و روش اندازه‌گیری صدا (۲)

Fig.1. Equipment used in experiments, Proteus circuit of the device and schematic of the wiring (1) and Sound Measurement method (2)

در شکل ۲ سامانه سنجش گاز مونو اکسید کربن و تزریق هوا به اگزوز بر روی موتور بنزینی انژکتوری نشان داده شده است. دود تولیدی موتور (۱) از طریق مانیفولد خروجی (۲) وارد اگزوز می‌شود و از انباره (۵) و لوله خروجی (۶) خارج شده، وارد شیلنگ و فیلتر آب گیر (۷) می‌شود. مقدار مونو اکسید کربن تولیدی موتور به‌وسیله سنسور مونو اکسید کربن (۱۰) اندازه‌گیری می‌شود (سنسور مونو اکسید کربن ماژول نوع mq7 می‌باشد) و اطلاعات این سنسور به دستگاه سنجش (۹) ارسال شده و در صورت بالاتر بودن مقدار مونو

اکسید کربن از مقدار تعیین شده دستور به رله (۱۶) و شیر برقی (۱۹) نصب شده برروی مخزن ذخیره هوا (۱۷) ارسال می‌شود و مسیر ورود هوا به لوله اگزوز قبل از کاتالیست باز می‌شود و از طریق لوله (۳) هوا به اگزوز قبل از کاتالیست (۴) ارسال می‌گردد. با این عمل مقدار تولید مونو اکسید کربن تولیدی در موتور کاهش می‌یابد. پمپ هوا (۱۴) وظیفه تامین هوای سیستم را برعهده دارد و برق کل مدار از طریق باطری ۱۲ ولت تامین می‌شود (۱۳). ضمناً روی مخزن ذخیره هوا یک رگلاتور (۱۸) نصب شده است که در صورت افزایش فشار باد مخزن از مقدار ۲۵ پی اس ای برق پمپ هوا را قطع نماید. در مسیر خروجی پمپ باد به مخزن یک سوپاپ یک طرفه جهت جلوگیری از تخلیه هوای ذخیره شده در مسیر مخزن به پمپ هوا در هنگام خاموش شدن نصب شده است.



شکل ۲- سامانه سنجش گاز مونو اکسید کربن و تزریق هوا به اگزوز بر روی موتور بنزینی

Fig.2. System for measuring carbon monoxide gas and injection of air to exhaust gasoline engine

نتایج و بحث

در جدول ۲ تجزیه واریانس تیمارهای دور (R) در سه سطح، اتانول (E) در پنج سطح و نانو ذرات کربنی (N) در سه سطح بر صفات روی صدا، مونو اکسید کربن، دی‌اکسید کربن، هیدروکربن‌های نسوخته و اکسیژن آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، اثر یگانه، دوگانه و سه‌گانه تمام تغییرات صدا، اتانول و نانو ذرات کربنی در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس تیمارهای آزمایش روی گازهای آلاینده موتور و صدا

Table 2- Analysis of variance of test treatment on engine sound and pollutant gases

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی df	میانگین مربعات خطا (Mean square error)				
		صدا Sound	مونو اکسید کربن CO	دی‌اکسید کربن CO_2	هیدروکربن HC	اکسیژن O_2
R	2	2721.386^{**}	0.001^{**}	1.263^{**}	912.014^{**}	6.689^{**}
E	4	2.138^{**}	0.006^{**}	1.298^{**}	6288.739^{**}	0.047^{**}
N	2	10.996^{**}	0.003^{**}	0.013^{**}	1502.401^{**}	0.013^{**}
E×R	8	1.9990^{**}	0.00^{**}	0.155^{**}	91.847^{**}	0.092^{**}
N×R	4	12.9310^{**}	$3.74\times10^{-5*}$	0.127^{**}	100.574^{**}	0.001^{**}
N×E	8	1.331^{**}	$6\times10^{-5**}$	0.066^{**}	76.393^{**}	0.006^{**}
N×E×R	16	0.415^{**}	$7.8\times10^{-5*}$	0.071^{**}	35.496^{**}	0.014^{**}
Error	90	0.092	1.85×10^{-5}	0.003	2.328	0.000
CV(%)	–	5.54	0.139	2.51	1.34	2.84
Total	135					

** Significant at the 1% error level, * Significant at the 5% error level and ns No Significant differences

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشد. R = دور، E = اتانول و N = نانو ذرات کربنی

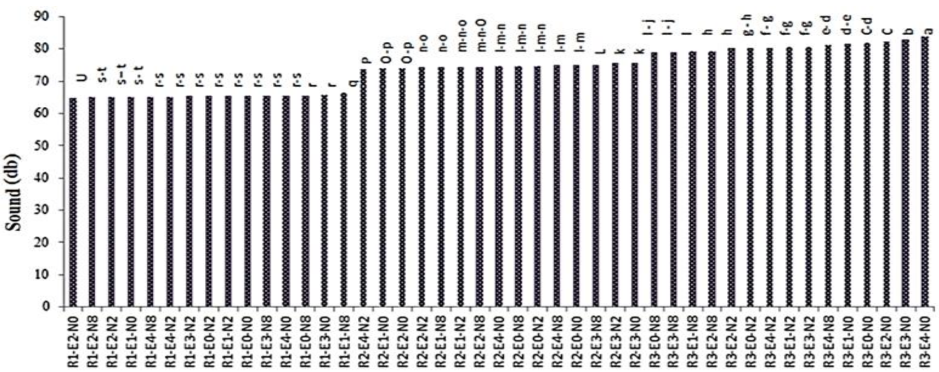
در این تحقیق برای دور ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به‌ترتیب از حروف R1، R2 و R3، برای پنج سطح اتانول از حروف E0 (بنزین صفر درصد)، E1 (۱۰ درصد اتانول به ۹۰ درصد بنزین)، E2 (۲۰ درصد اتانول به ۸۰ درصد بنزین)، E3 (۳۰ درصد اتانول به

۷۰ درصد بنزین) و E4 (۴۰ درصد اتانول به ۶۰ درصد بنزین) و برای نانو ذرات کربنی از حروف N0 (بدون نانو ذرات کربنی)، N2 (۲۰ پی‌پی‌ام از نانو ذرات کربنی به سوخت اضافه شده) و N8 (به مقدار ۸۰ پی‌پی‌ام از نانو ذرات کربنی به سوخت اضافه شده) استفاده شده است. در ادامه به تفسیر هر کدام از این صفات و عوامل پرداخته می‌شود.

اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو ذرات کربنی بر صدای تولید شده در موتور

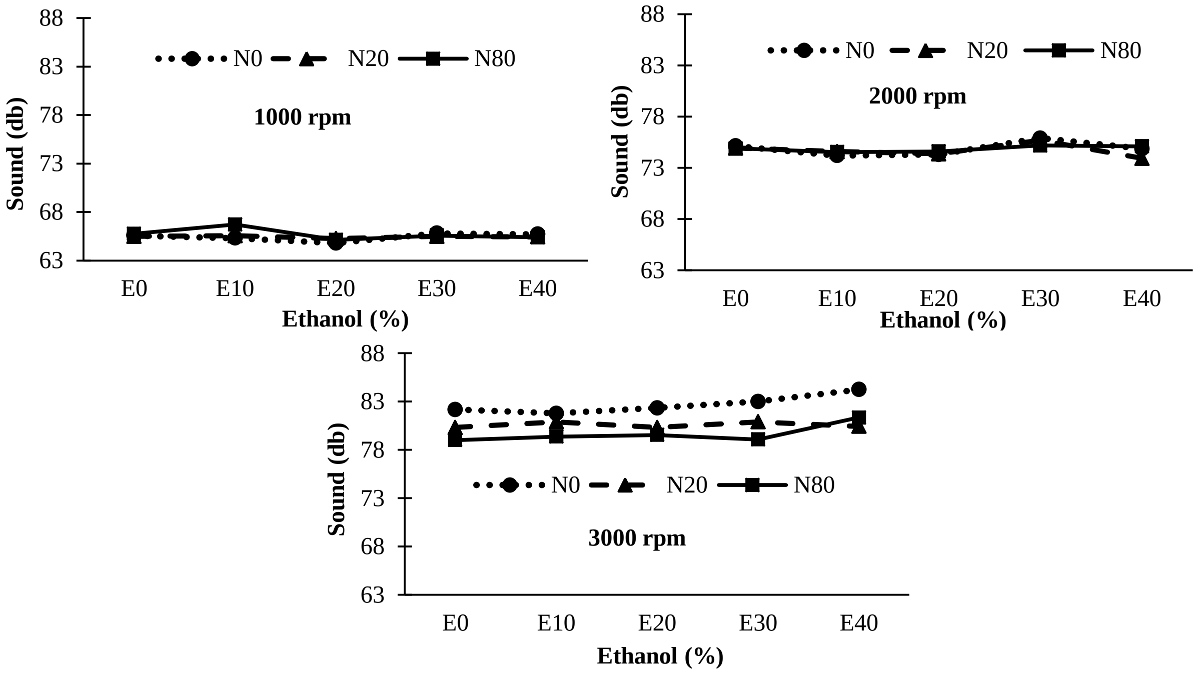
شکل ۳ اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو ذرات کربنی در صدای تولید شده در موتور را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود گروه R1 از نظر تولید صدا کمترین و R3 بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. به‌طوری‌که در ترکیب (R1-E2-N0) یعنی دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، اتانول ۲۰ درصد و ۰ پی‌پی‌ام نانو ذرات کربنی کمترین مقدار صدا تولید شده است. در ترکیب (R3-E4-N0) یعنی دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، اتانول ۴۰ درصد و نانو ۰ پی‌پی‌ام بیشترین مقدار صدا تولید شده است. همچنین با توجه به نمودار اثر متقابل سه‌گانه شکل ۳ مشاهده می‌شود که از نظر تولید صدا گروه دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه نسبت به گروه دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مقدار کمتری را به خود اختصاص داده است (R3 در قسمت‌های پایین نمودار است و R1 در قسمت‌های بالای نمودار که نشانگر تولید صدای کمتر است). با توجه به شکل ۳ هر دسته دورهای ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ را می‌توان به‌صورت مجزا تحلیل نمود. مشاهده می‌شود که در دسته دور ۳۰۰۰ گروه نانو ۸۰ پی‌پی‌ام (N8) کمترین مقدار تولید صدا و گروه نانو صفر (N0) بیشترین مقدار تولید صدا داشته است در دور ۱۰۰۰ گروه اتانول ۲۰ (E20) کمترین مقدار صدا و گروه اتانول ۰، ۱۰ و ۳۰ (E0-E10-E30) بیشترین تولید صدا را داشته است.

در شکل ۴ نمودار مقایسه میانگین دانکن تاثیر سطوح مختلف اتانول و نانو ذرات کربنی در دورهای مختلف بر روی تولید صدا آورده شده است. همان‌طور که در نمودار مربوط به ۱۰۰۰ دور بر دقیقه مشاهده می‌شود، مقدار تولید صدا در ترکیب‌های مختلف اتانول و نانو ذرات کربنی تقریباً ثابت و در حدود ۶۵ دسیبل (db) ثبت شده است. در دور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه میانگین صدای موتور مشابه روند قبلی به ۷۵ دسیبل رسید. ولی در دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مقدار تولید صدا اثر افزایش اتانول از E0 به E40 به اندازه ۳ دسیبل افزایش یافت. دلیل این افزایش صدا در اثر افزودن اتانول این است که دمای موتور در این دور افزایش یافته و این افزایش دما باعث ترکیب بهتر اکسیژن با کربن و هیدروژن شده و صدا افزایش می‌یابد (Bashar, 2016; Han, 2014;). همچنین در این دور در اثر افزودن مواد نانوکربنی مقدار صدا در تمامی تیمارها کاهش یافت و مقدار صدا از ۸۲/۱۷ دسیبل در N0 به ۷۹ دسیبل در N80 در اتانول E0 رسید. همچنین این روند کاهشی در اثر افزودن مواد نانوکربنی با افزایش اتانول ادامه داشت به طوری که مقدار بیشینه صدا با مقدار ۸۴/۲۳ دسیبل در E40 بدون مواد نانو کربنی به ۸۰ دسیبل با افزودن ۲۰ پی‌پی‌ام کاهش پیدا کرد. دلیل این تغییرات صدا را می‌توان این گونه بیان نمود که در دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، موتور در حالت دور آرام کار می‌کند طبعاً در این دور صدای موتور کمتر از بقیه دورها است با افزایش دور موتور به ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه صدا، به دلیل تعداد سیکل احتراق بیشتر موتور، بیشتر می‌شود. افزایش صدا در اثر افزودن اتانول در تحقیقات انجام شده توسط کیسکین که بیان نمود با افزایش مقدار اتانول کمی مقدار صدای موتور افزایش می‌یابد نیز گزارش شده است (Keskin, 2010). همچنین کاهش صدا در اثر افزودن مواد نانو کربنی توسط اتفاقی و همکاران (Ettefaghi *et al.*, 2012) که از نانو ذرات کربن بال در روغن موتور استفاده نمودند و اعلام کردند این ذرات ویژگی‌های ضد سایشی را بهبود می‌دهند، نیز گزارش شده است.



شکل ۳– اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو ذرات کربنی بر صدای تولید شده در موتور

Fig.3. The triple effects of round, ethanol and carbon nanoparticles on the noise produced in the engine



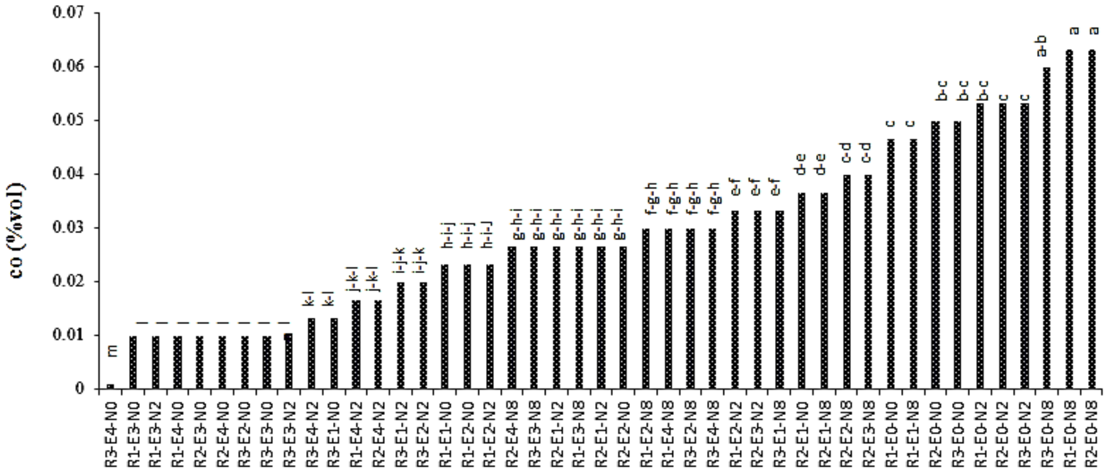
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف اتانول و نانو ذرات کربنی بر صدا در دورهای مختلف موتور به روش برش‌دهی دانکن

Fig.4. Comparing the mean graph of the effect of different levels of ethanol and carbon nanoparticles on sound in different engine rpm by Duncan's slicing method

اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو کربن برمونو اکسید کربن

در شکل ۵ اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو ذرات کربنی بر مونو اکسید کربن مشخص شده است. همانطور که در نمودار دیده می‌شود گروه E4 و E3 از نظر تولید مونو اکسید کربن کمترین و E0 بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است به‌طوری‌که در ترکیب R3-E4-N0 یعنی دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، اتانول ۴۰ درصد و ۰ پی‌پی‌ام نانو ذرات کربنی کمترین میزان درصد تولید مونو اکسید کربن (نزدیک صفر) تولید شده است و در ترکیب R2-E0-N8 یعنی دور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه، اتانول ۰ درصد و نانو ۸۰ پی‌پی‌ام بیشترین مقدار تولید مونو اکسید کربن تولید شده است. همچنین با توجه به نمودار مذکور مشاهده می‌شود که از نظر تولید مونو اکسید کربن گروه ۸۰ پی پی ام نانو ذرات کربنی نسبت به گروه صفر پی پی ام نانو ذرات کربنی مقدار بیشتری را خود اختصاص داده است (N8 در قسمت‌های پایین نمودار است و N0 در قسمت‌های بالای نمودار که نشانگر تولید مونواکسید کمتر است). علت احتمالاً می‌تواند این باشد که چون نانو ذرات کربنی دارای کربن می‌باشند، در نتیجه در اثر اختلاط با بنزین مقدار ترکیبات کربن‌دار افزایش می‌یابد که این کربن‌ها به‌صورت CO_2، CO و HC از اگزوز خارج می‌شوند. همچنین وجود شمع در موتور بنزینی باعث می‌شود مواد نانو کربنی در سیکل تراکم که منجر به فشرده شدن هوا در حجم کم می‌شود، روی شمع رسوب کرده و باعث کثیفی آن شوند (با بازبینی شمع‌ها این مساله مشاهده گردید) و باعث شوند احتراق خوبی در نوک شمع ایجاد نشود. تحقیقات محققین دیگری نیز این مطلب را تایید می‌کند و گزارش شده است افزایش مونو اکسید کربن برای موتورهای دیزل بر اثر افزودن مواد نانو کربنی به دلیل این‌که در این موتورها مساله جرقه‌زنی وجود ندارد، با شدت کمتری مشاهده شده است (Tewari *et al.*, 2013). این مطلب در شکل ۶ به خوبی برای هر سه سطح دور موتور مشهود است.

در شکل ۶ نمودار اثر سطوح مختلف اتانول و نانو ذرات کربنی در دورهای مختلف موتور بر میانگین مقادیر مونو اکسید کربن خروجی از اگزوز به روش دانکن مشاهده می‌شود. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود در تمام دورها با افزودن اتانول (از E0 به E10) مقدار مونو اکسید کربن به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. تحقیقات نشان داده است که افزودن مقدار جزئی حتی کمتر از ۱۰٪ اتانول به سوخت باعث کاهش گازهای آلاینده HC و CO به دلیل احتراق بهتر می‌شود (Thakur *et al.,* 2017). این کاهش مونو اکسید کربن حدود ۵۰٪ برای N0 و N20 و حدود ۲۴٪ برای N80 در دور R1000 (دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه)، به‌ترتیب ۲۷، ۵۷ و ۳۶٪ برای N0، N10 و N80 در دور R2000 (۲۰۰۰ دور بر دقیقه) به‌ترتیب ۶۵/۷۳ و ۴۰ ٪ برای N0، N10 و N80 در دور R2000 موتور به‌دست آمد که نشان می‌دهد در دورهای بالا این کاهش شدیدتر می‌باشد.



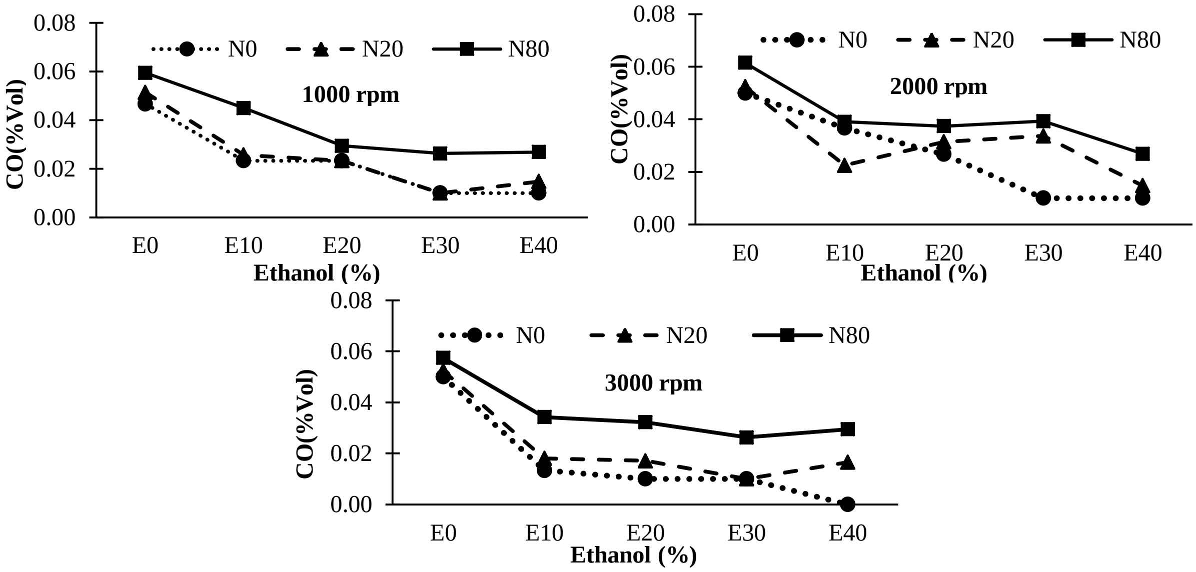
شکل ۵- دیاگرام اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو کربن بر روی مونو اکسید کربن خروجی از موتور

Fig.5. Diagram of triple effects, ethanol and Nano carbon on carbon monoxide output from the engine

در مجموع فقط با اضافه کردن ۱۰ درصد اتانول به میزان قابل ملاحظه‌ای میانگین مونو اکسید کربن تولید شده (از ۰/۰۵۴ درصد در E0 به ۰/۰۲۹ در E10) کاهش یافته است. این سوال مطرح می‌شود چرا مصرف اتانول باعث کاهش مونو اکسید کربن شده است دلیل آن را می‌توان این‌گونه بیان نمود که با توجه به جدول ۱ چون عدد اکتان اتانول بیشتر از بنزین است، عدد اکتان اتانول ۱۰۸ و عدد اکتان بنزین معمولی کمتر از ۹۰ است. بالا بودن عدد اکتان مزایای زیادی برای موتور دارد، باعث کاهش خودسوزی در موتور می‌شود و در نتیجه احتراق پیش‌رس در موتور کم شده و فرآیند احتراق کامل‌تر می‌شود (Han, 2014). همچنین با توجه به جدول ۱ محتوای اکسیژن در اتانول ۳۸/۴ درصد است و بنزین فاقد اکسیژن است. این امر باعث ترکیب اکسیژن (O_2) با کربن (C) شده و از تولید مونو اکسید کربن (CO) که در اثر کمبود اکسیژن ایجاد می‌شود جلوگیری می‌گردد (Bashar, 2016). از سوی دیگر افزایش دمای محفظه احتراق به دلیل احتراق بهتر در اثر افزایش درصد اتانول دلیل دیگری برای کاهش HC و CO می‌باشد (Thakur *et al.*, 2017). با توجه به شکل ۶ مقدار CO در دور R2000 بیشتر از دو دور دیگر است. در تولید مونو اکسید کربن از نظر دور موتور، بیشترین مقدار میانگین مونو اکسید کربن تولیدی در R2000 با مقدار ۰/۰۳۳ درصد و کمترین مقدار مربوط به دور R3000 با مقدار ۰/۰۲۵ درصد بود. دلیل این‌که در دور ۲۰۰۰ تولید مونو اکسید کربن افزایش یافته این است که با افزایش نسبت استوکیومتری و غنی شدن سوخت (به دلیل تغییر سرعت مخلوط غنی‌تر می‌شود)، مقدار CO و HC افزایش می‌یابد (Ommi *et al.*, 2009). با افزایش بیشتر دور، دمای محفظه احتراق به دلیل بالا بودن سرعت شعله افزایش یافته، عمل اکسیداسیون و در نتیجه احتراق بهتر و کامل‌تر می‌شود که نتیجه آن کاهش آلاینده‌های خروجی اگزوز (CO و HC) دور R3000 خواهد بود (Dong *et al.*, 2001; Mansha *et al.*, 2012) البته افزایش بیشتر از حد دور موتور، باعث کاهش بازده حجمی و افزایش دوباره CO و HC خواهد شد (Thakur *et al.*, 2017). امی و همکاران (Ommi *et al.*, 2009) نیز به این نکته اشاره کردند که با مصرف اتانول مقدار مونو اکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته در بار کامل و بار جزیی کاهش می‌یابد.

اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو کربن بر دی‌اکسید کربن

در شکل ۷ اثرات سه گانه دور، اتانول و نانو ذرات کربنی روی دی‌اکسید کربن آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ترکیب (R2-E0-N8) میزان تولید دی اکسید کربن در کمترین حد و در ترکیب (R3-E1-N0) میزان تولید دی اکسید کربن در بیشترین مقدار خود قرار دارد. با بررسی دقیق‌تر شکل ۷ می‌توان به این نکته پی برد که دور اثر بیشتری در تولید گاز دی اکسید کربن موتور دارد. در (R3) یعنی دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مقدار تولید گاز دی‌اکسید کربن نسبت دورهای دیگر بیشتر شده است. همچنین اتانول E0 دارای کمترین دی‌اکسید کربن است و با افزایش مقدار اتانول، دی‌اکسید کربن زیاد می‌شود (E0 در قسمت بالای نمودار و E3 و E4 در قسمت پایین نمودار قرار دارد) که نشان‌دهنده کار بهتر موتور و احتراق کامل‌تر می‌باشد.



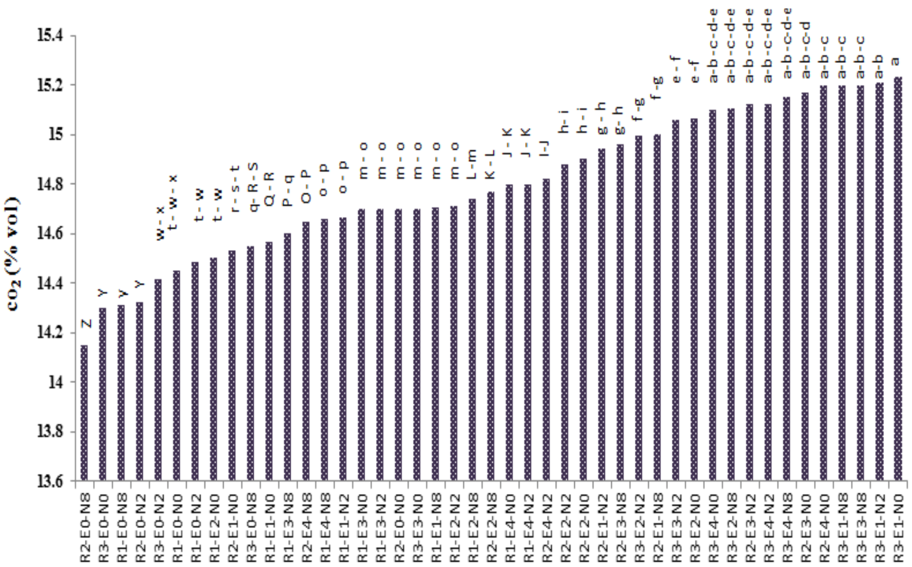
شکل ٦– اثر سطوح مختلف اتانول و نانو ذرات کربنی در دورهای مختلف موتور بر میانگین مقادیر مونو اکسید کربن خروجی از اگزوز

Fig.6. The effect of different levels of ethanol and carbon nanoparticles in different engine speed on carbon monoxide exhaust from the engine

شکل ۸ نمودار اثر سطوح مختلف اتانول و نانو ذرات کربنی در دورهای مختلف موتور بر میانگین مقادیر دی‌اکسید کربن خروجی از اگزوز به روش برش‌دهی دانکن آورده شده است. همانطور که در نمودار مشاهده می‌شود در تمامی تیمارها با افزایش دور موتور مقدار دی‌اکسید کربن افزایش یافته و در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به بیشینه مقدار آن یعنی ۱۴/۹۶ درصد رسیده است. دلیل این افزایش ناشی از احتراق کامل‌تر بنزین در دور بالا و دمای بالا در این دورها است که منجر به افزایش دی‌اکسید کربن و کاهش مونو اکسید کربن می‌شود و شکل ۶ این مطلب را تأیید می‌کند. درصد افزایش CO_2 از E0 به E10 برای دورهای R1000، R2000 و R3000 به‌ترتیب ۱/۶، ۳ و ۵/۵ درصد به‌دست آمد و با افزایش دور این درصد افزایش یافته است. همچنین با توجه به شکل ۸ با اضافه نمودن هر ترکیبی از اتانول به بنزین (۱۰ الی ۴۰ درصد اتانول به بنزین) مقدار تولید دی‌اکسید کربن در خروجی موتور افزایش داشته است و کمترین مقدار دی‌اکسید کربن در اتانول ۰ درصد به‌دست آمد که نشان می‌دهد، مصرف اتانول در تولید دی‌اکسید کربن خروجی از موتور تاثیر مثبت داشته است. این روند توسط محققین بسیاری تایید شده است (Sasongko *et al.*, 2017; Bashar, 2016; Han, 2014; Thakur *et al.*, 2017). دلیل آن این است که با توجه به جدول ۱ چون محتوای اکسیژن اتانول با فرمول مولکولی (C_2H_5OH) برابر با ۳۴/۸ درصد است و می‌توان این‌گونه بیان نمود که این اکسیژن اضافه در زمان احتراق با کربن سوخت ترکیب شده و با احتراق کامل، مقدار دی‌اکسید کربن افزایش و در نتیجه مونو اکسید کربن کاهش می‌یابد (Han, 2014; Thakur *et al.*, 2017) که در شکل‌های ۸ و ۱۰ به خوبی مشهود است. لازم به ذکر است که مونو اکسید کربن در اثر کمبود اکسیژن در موتور ایجاد می‌گردد (Mansha *et al.*, 2012).

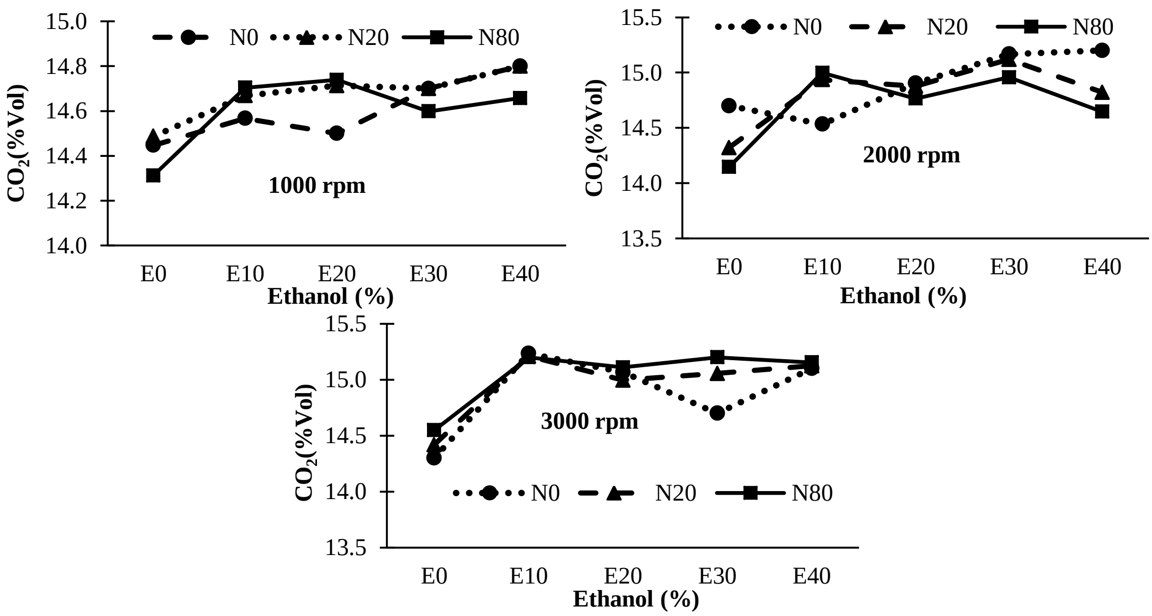
نکته دیگری که در شکل ۸ وجود دارد این است که در سرعت R1000 و R2000 با افزایش اتانول مقدار دی‌اکسید کربن به آرامی افزایش می‌یابد ولی در دور R3000 با افزایش اتانول از E10 به E40 مقدار دی‌اکسید کربن کاهش یافته به طوری که این درصد افزایش از E10 به E40 برای دورهای R1000، R2000 و R3000 به‌ترتیب برابر ۰/۷، ۰/۵ و ۰/۴- به‌دست آمد. دلیل آن ناشی از این است که با افزایش دور موتور و همچنین افزودن مقدار کمی اتانول (E10)، باعث احتراق بهتر و دمای بالا به دلیل سرعت بالا در محفظه احتراق می‌شود و چون راندمان حجمی با افزایش دور موتور در حال کاهش یافتن است، افزایش بیشتر اتانول، فقط مقدار C و H ترکیب‌ها را زیاد کرده و باعث کاهش CO_2 می‌شود. این کاهش CO_2 در اثر افزایش اتانول و دور توسط محققین دیگر گزارش شده است (Thakur *et al.*, 2017). از مقایسه شکل ۸ با شکل ۶ می‌توان به این نکته پی برد که افزایش مقدار دی‌اکسید کربن در میزان کاهش مونو اکسید کربن تاثیر مستقیم دارد. یعنی با افزایش مقدار دی‌اکسید کربن از مقدار مونو اکسید کربن خروجی موتور کاسته می‌شود. در شکل ۹ روند کلی تغییرات مونواکسید کربن و دی‌اکسید کربن در نسبت‌های مختلف اتانول مشاهده می‌شود که این روند توسط محققین دیگر تایید شده است (Thakur *et al.*, 2017). سرکار و همکاران (Sarkar *et al.*, 2012) در تحقیقی که بر روی یک موتور بنزینی با مصرف اتانول انجام دادند به این نکته اشاره نمودند که با افزایش اتانول به ترکیبات مختلف بنزین مقدار مونو اکسید کربن کاهش و مقدار

دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. نکته دیگری که در شکل ۹ به‌خوبی مشهود است تغییر زیاد دی‌اکسید کربن و مونو اکسید کربن در E10 نسبت به E0 است که قبل‌تر به آن اشاره شد.



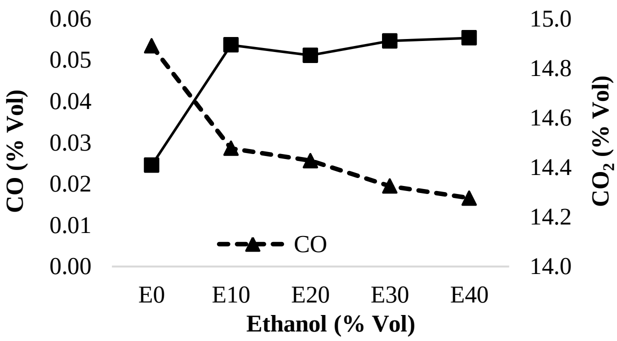
شکل ۷- اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو کربن بر روی دی‌اکسید کربن خروجی از موتور

Fig.7. Triple effects, ethanol and Nano carbon on carbon dioxide output from the engine



شکل ۸- اثر سطوح مختلف اتانول و نانو ذرات کربنی در دورهای مختلف موتور بر میانگین مقادیر دی‌اکسید کربن خروجی از اگزوز به روش برش‌دهی دانکن

Fig.8. The effect of different levels of ethanol and carbon nanoparticles in different engine speed on carbon dioxide exhaust from the engine by Duncan's slicing method



شکل ۹- روند کلی تغییرات مونواکسید کربن و دی‌اکسید کربن در نسبت‌های مختلف اتانول

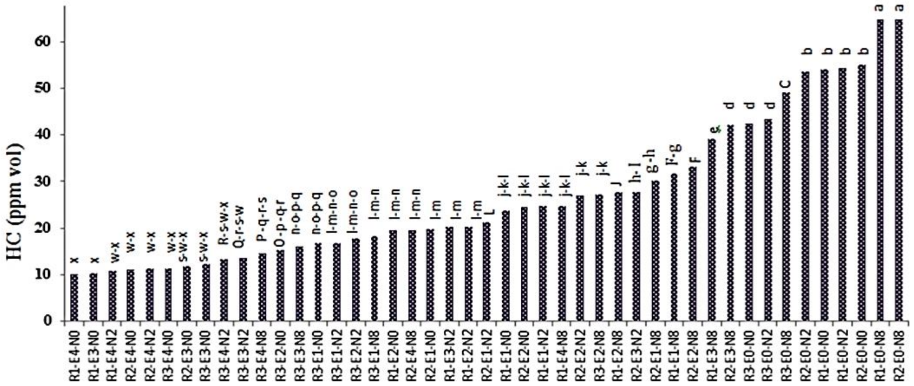
Fig.9. Changes in carbon monoxide and carbon dioxide in various ethanol ratios

اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو کربن بر هیدروکربن‌های نسوخته

در شکل ۱۰ اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو ذرات کربنی بر هیدروکربن‌های نسوخته آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در ترکیب (R1-E4-N0) کمترین مقدار هیدروکربن‌های نسوخته با مقدار ۱۰ پی‌پی‌ام و در ترکیب (R2-E0-N8) بیشترین مقدار هیدروکربن‌های نسوخته با مقدار ۶۴/۷۹ پی‌پی‌ام در موتور تولید شده است. با بررسی دقیق‌تر نمودار مذکور مشاهده می‌شود گروه (E0) یعنی در اتانول صفر درصد در پایین نمودار قرار دارند که نشان‌دهنده تولید بالای هیدروکربن نسوخته در غیاب اتانول است. همچنین در نمودار مذکور با افزایش نانو ذرات کربنی مقدار تولید هیدروکربن‌های نسوخته بیشتر شده ولی روند مشخصی در تولید هیدروکربن نسوخته نسبت به دور موتور مشاهده نمی‌شود و فقط در ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مقدار هیدرو کربن نسوخته تولیدی کمتر است. جهت بررسی دقیق‌تر تجزیه واریانس به روش برش‌دهی دانکن بر اساس دور انجام شد. در شکل ۱۱ نمودار دانکن میانگین مقادیر تولیدی هیدروکربن‌های نسوخته با مصرف ۵ سطح اتانول از اتانول ۰ تا ۴۰ درصد با نسبت‌های مختلف نانو ذرات کربنی در دورهای مختلف نشان داده شده است. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود روند تغییرات HC مشابه نمودار مربوط به CO (شکل ۶) است و با افزایش اتانول مقدار HC کاهش یافته است. در این نمودار بیشترین و کمترین مقدار هیدروکربن‌های نسوخته تولید شده به‌ترتیب مربوط به تیمارهای E0N8 و E40N0 با مقادیر ۶۴/۷ و ۱۰ پی‌پی‌ام در دور R1، ۶۴/۷۹ و ۱۱پی‌پی‌ام در دور R2 و ۶۹/۱۶ و ۱۱/۳۳پی‌پی‌ام در دور R3 به‌دست آمد. با توجه به این نمودار بیشترین کاهش (کاهش ۵۷٪) زمانی اتفاق افتاده است که به بنزین خالص ۱۰ درصد اتانول اضافه شده است و با افزایش میزان اتانول در تمام دورها مقادیر هیدروکربن‌های نسوخته کاهش می‌یابد و در مجموع باعث کاهش ۲۴ درصدی آن شده است. دلیل اینکه چرا با افزایش اتانول به سوخت هیدروکربن‌های نسوخته (HC) کاهش می‌یابد را می‌توان این‌گونه بیان نمود که با توجه به محتوای اکسیژن موجود در اتانول (با فرمول مولکولی C_2H_5OH در جدول ۱ که حدود ۳۴٪ است) در زمان احتراق این اکسیژن با هیدروژن (H) موجود در سوخت ترکیب شده و در نتیجه آب (H_2O) تولید می‌شود و همچنین کربن (C) موجود در هیدروکربن نسوخته با اکسیژن ترکیب شده و باعث تولید بیشتر دی‌اکسید کربن (CO_2) می‌شود که در شکل ۸ به خوبی مشهود است. دلیل دیگر این‌طور گزارش شده است که با افزایش اتانول حتی به مقدار جزئی به سوخت باعث احتراق بهتر و در نتیجه افزایش دما و فشار اتاقک احتراق شده و این احتراق کامل‌تر باعث کاهش HC، CO و O_2 می‌شود (Thakur *et al.*, 2017).

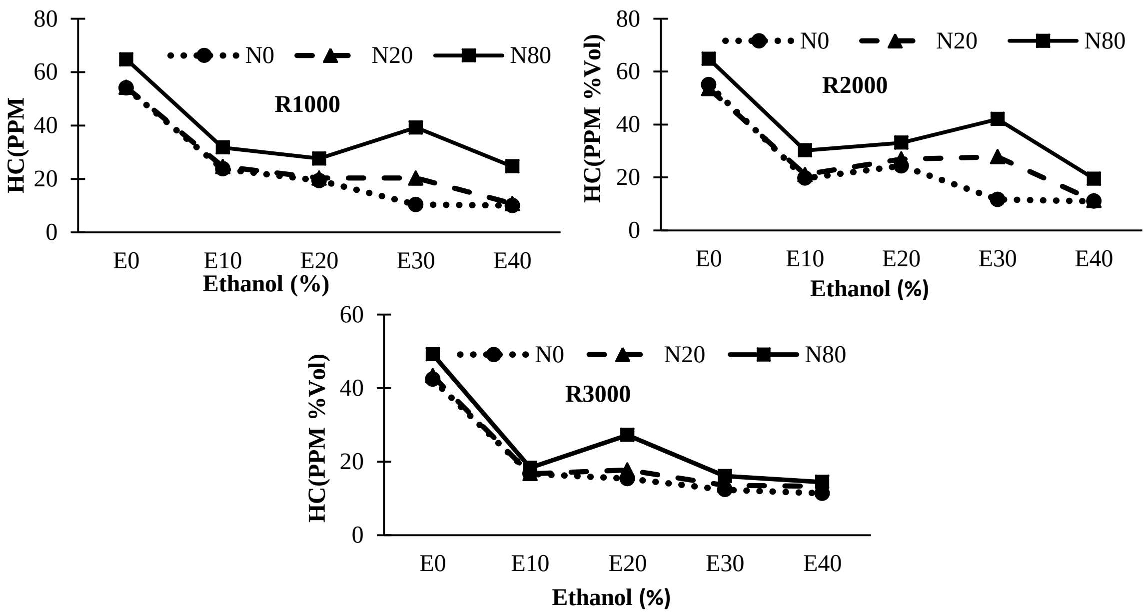
با توجه به نمودار شکل ۱۱، در تمام دورها میزان هیدروکربن‌های نسوخته در نانو ۸۰ پی پی ام نسبت به نانو ۰ و ۲۰ پی پی ام بیشتر است و این مقدار در این تحقیق در مجموع از ۰ به ۸۰ پی‌پی‌ام حدود ۲۲/۶٪ اندازه‌گیری گردید. این افزایش به دلیل زیاد شدن ترکیبات کربنی و واکنش آن با هیدروژن به دلیل افزایش نانو ذرات کربنی می‌باشد که در اتاقک احتراق این کربن‌ها با اکسیژن و هیدروژن مخصوصاً در غیاب اتانول و در دورهای کم واکنش داده و CO و HC تولید می‌کنند. با توجه به تحقیقی که آقای تواری و همکاران (Tewari *et al.*, 2013) با مصرف نانو ذرات کربن لوله‌ای به همراه سوخت بیو دیزل در یک موتور دیزل انجام دادند بیان کردند که با مصرف نانو ذرات کربن لوله‌ای مقدار مونو اکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته افزایش می‌یابد. همچنین در شکل ۱۱ مقدار هیدروکربن‌های نسوخته در دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه به مقدار ۲۱/۸۳ پی پی ام حجمی است که از دیگر دورهای موتور کمتر است. دلیل آن این است که در دورهای بالا به دلیل فشار و دمای بالا، واکنش‌های احتراق کامل بوده و طی احتراق کامل (شکل ۱۳ که مقدار اکسیژن خروجی از اگزوز دال بر صحت این مطلب است)، مقدار CO_2 خروجی افزایش می‌یابد (شکل ۸) و بنابراین مقدار HC کاهش می‌یابد. همچنین در دور میان‌باری مقدار HC (۳۰/۲ پی‌پی‌ام) از دور آرام R1 (۲۹ پی‌پی‌ام) و دور بالای R3 (۲۱/۸ پی‌پی‌ام) بیشتر است

که دلیل آن این است که در میان‌باری به علت نسبت استکیومتری بالا، احتراق کامل نیست و مقدار آلاینده‌های CO و HC افزایش می‌یابد. انتشار گازهای آلاینده HC و CO در مخلوط‌های غنی زیادتر است و با کاهش نسبت استکیومتری مقدار گازهای مذکور کم می‌شود (Mansha *et al.*, 2012; Sonthalia *et al.*, 2015; Egúsquiza *et al.*, 2009; Thakur *et al.*, 2017). لازم به ذکر است افزایش بیشتر دور (بیشتر از دور مشخصه موتور) باعث کاهش نسبت تراکم و افزایش گازهای آلاینده می‌شود (Thakur *et al.*, 2017). این نتیجه با پژوهش امی و همکاران (Ommi *et al.*, 2009) که بیان کردند مقدار تولید مونو اکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته در بار کامل کمتر است، هم‌خوانی دارد. مقدار کاهش HC با افزایش دور از دور آرام ۱۰۰۰ rpm به دور ۳۰۰۰ rpm برابر ۱۱/۸۵٪ به‌دست آمد.



شکل ۱۰- دیاگرام اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو کربن بر روی هیدروکربن‌های نسوخته خروجی از موتور

Fig.10. Diagram of triple effects, ethanol and Nano-carbon on unleaded hydrocarbons from motor output



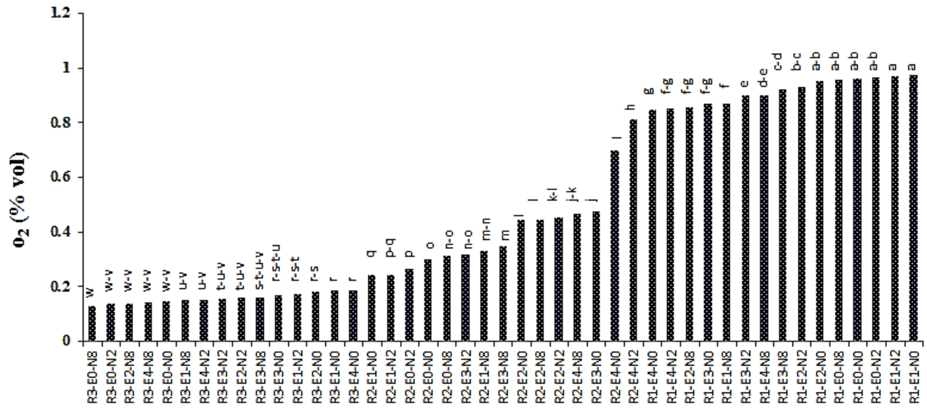
شکل ۱۱- اثر سطوح مختلف اتانول و نانو ذرات کربنی در دورهای مختلف موتور بر میانگین مقدار HC خروجی از اگزوز به روش برش‌دهی

Fig.11. The effect of different levels of ethanol and carbon nanoparticles in different engine speed on HC exhaust from the engine by Duncan's slicing method

اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو کربن بر اکسیژن خروجی

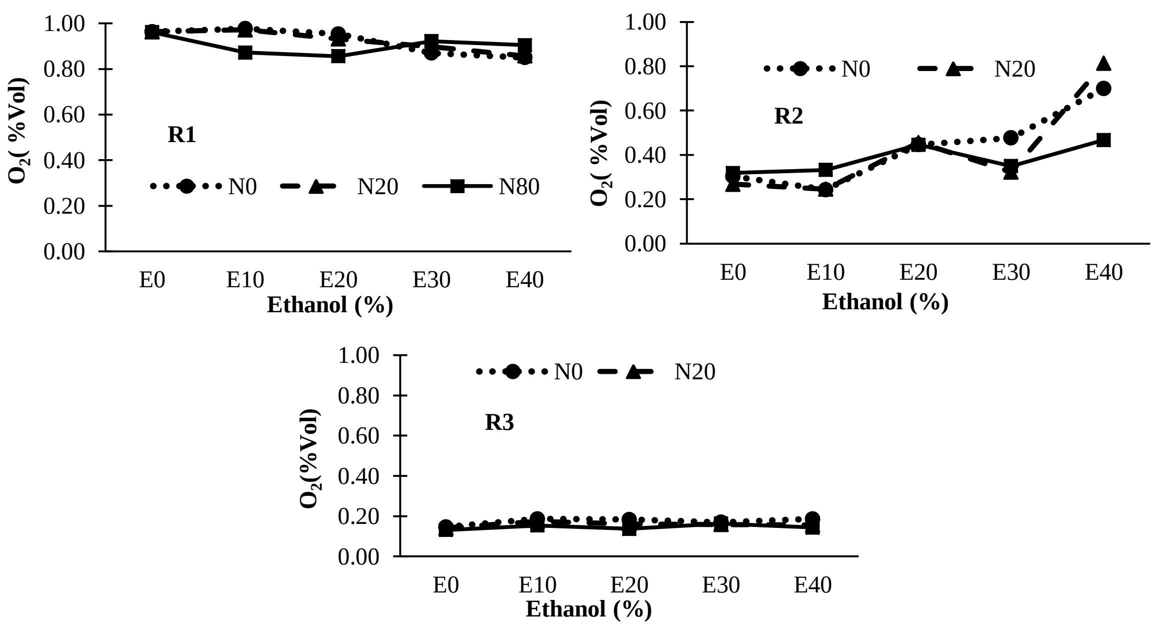
در شکل ۱۲ اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانو ذرات کربنی بر اکسیژن آورده شده است. در شکل مشاهده می‌شود که در ترکیب (R3-E0-N8) یعنی در دور ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، اتانول صفر و نانو ۸۰ کمترین مقدار اکسیژن (۱۳٪) در خروجی اگزوز موتور وجود داشت و در ترکیب (R1-E1-N0) یعنی در دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، اتانول ۱۰ و نانو صفر بیشترین مقدار اکسیژن (۹۷٪) در خروجی اگزوز موتور مشاهده شد. با توجه به این نمودار در دور ۳۰۰۰ موتور (سطح R3

مقدار اکسیژن خروجی از اگزوز به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر دورها می‌باشد و روند مشخصی برای دو تیمار دیگر (E و N) از نظر کاهش اکسیژن مشاهده نمی‌شود. برای بررسی بیشتر تجزیه واریانس به روش برش‌دهی دانکن بر حسب دور انجام شد. با توجه به شکل ۱۳ که مقایسه مقدار میانگین اکسیژن خروجی در سه دور موتور ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه نسبت به دو تیمار دیگر را به روش برش‌دهی دانکن نشان می‌دهد، به‌طور متوسط مقدار اکسیژن خروجی تغییرات زیادی نسبت به تغییر دور داشته است و از ۰/۹۲درصد حجمی در دور ۱۰۰۰ به ۰/۱۶ درصد حجمی در دور ۳۰۰۰ رسیده است. دلیل این کاهش ۸۲/۶ درصدی این است که در مخلوط‌های غنی مقدار HC و CO به دلیل عدم نسبت مناسب افزایش می‌یابد (Mansha *et al*., 2012) لذا در دور آرام و دور متوسط مخلوط سوخت نسبتاً غنی می‌باشد و باعث افزایش اکسیژن نسوخته در خروجی اگزوز می‌شود (Mansha *et al*., 2012; Sonthalia *et al*., 2015; Han, 2014; Thakur *et al*., 2017; Ommi *et al*., 2009) و با افزایش دور موتور، دما و فشار محفظه احتراق افزایش یافته و احتراق بهتر و کامل‌تر می‌شود و چون مخلوط فقیر است در تحقیقی عنوان شده است که افزایش دور باعث افزایش دما و احتراق بهتر شده و در نتیجه کاهش CO و HC پیدا می‌کند و کاهش اکسیژن خروجی تا E40 را به همراه دارد (Bashar, 2016).



شکل ۱۲- اثرات سه‌گانه دور، اتانول و نانوکربن بر روی اکسیژن خروجی از موتور

Fig.12. Triple effects, ethanol and Nano-carbon on unleaded oxygen from engine output



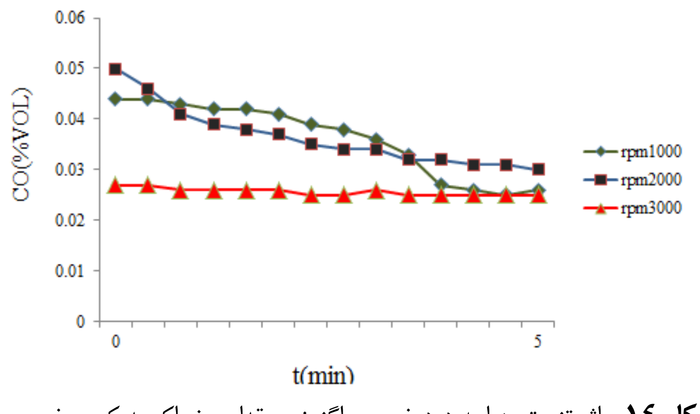
شکل ۱۳- اثر سطوح مختلف اتانول و نانو ذرات کربنی در دورهای مختلف موتور بر میانگین مقدار O_2 خروجی از اگزوز به روش برش‌دهی

Fig.13. The effect of different levels of ethanol and carbon nanoparticles in different engine speed on O_2 exhaust from the engine by Duncan's slicing method

با توجه به شکل ۱۳ در ۱۰۰۰ دور بر دقیقه با اضافه نمودن اتانول به سوخت مقدار اکسیژن خروجی کاهش یافته و احتراق بهبود پیدا کرده است که دلیل آن عدد اکتان اتانول و احتراق بهتر می‌باشد (Gershashbi, 2012). همچنین در دور میان باری R2، به دلیل اینکه مخلوط غنی می‌باشد با افزایش مقدار اتانول به سوخت باعث افزایش اکسیژن در خروجی موتور می‌شود. این روند در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (Sasongko *et al.*, 2017). دلیل دیگر این که افزایش اتانول باعث بهبود گازهای خروجی آلاینده و احتراق بهتر می‌شود را در ترکیب اتانول نیز می‌توان یافت. مطابق جدول ۱ نسبت استوکیومتریک اتانول ۹ است یعنی برای سوختن کامل یک واحد اتانول به ۹ واحد اکسیژن نیاز است در صورتی‌که نسبت استوکیومتریک بنزین ۱۴/۸ است یعنی برای سوختن کامل یک واحد بنزین به ۱۴/۸ واحد اکسیژن نیاز است بنابراین با علم به این موضوع می‌توان گفت که با مصرف اتانول در موتور به‌عنوان سوخت، اکسیژن کمتری برای سوختن نیاز است و در نتیجه اکسیژنی که در هوای ورودی به موتور وارد می‌شود کمتر مصرف می‌شود. مقداری از این اکسیژن (O_2) اضافه با هیدروژن (H) ترکیب و به آب (H_2O) تبدیل می‌شود و همچنین با کربن (C) و مونو اکسید کربن (CO) ترکیب شده و آن را به دی‌اکسید کربن (CO_2) تبدیل می‌کند.

نتایج اثر تزریق هوا بر مقدار مونو اکسید خروجی از اگزوز

توسط دستگاه ساخته شده اثر تزریق هوا به خروجی دود اگزوز در مقدار مونو اکسید کربن خروجی در سه دور ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش در سه زمان ۵ دقیقه به‌صورت پیوسته انجام شد و دستگاه طوری برنامه‌ریزی شد که در صورت بالاتر بودن مقدار مونو اکسید کربن خروجی اگزوز از مقدار ۰/۰۲ درصد رله خروجی مخزن هوا فعال شود در نتیجه برق شیر برقی وصل شده و اجازه تزریق هوا به لوله خروجی اگزوز قبل از کاتالیست را دهد. زمان دستگاه بر اساس پیش آزمایش‌های انجام گرفته روی ۳ ثانیه باز بودن خروجی مخزن و ۷ ثانیه بسته بودن خروجی مخزن تنظیم شد. مقدار مونو اکسید کربن خروجی در اگزوز با تزریق هوا، ثبت و اندازه‌گیری شد و نتایج آن در شکل ۱۴ آورده شده است. همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود در دور ۱۰۰۰ دور بر دقیقه طی ۵ دقیقه با تزریق هوا مقدار مونو اکسید کربن خروجی اگزوز از مقدار ۰/۰۴۳ درصد به مقدار ۰/۰۲۵در کاهش یافته است سپس این مقدار ثابت شد. با افزایش دور موتور به مقدار ۲۰۰۰ دور بر دقیقه در ۵ دقیقه دوم ابتدا مقدار مونو اکسید کربن به مقدار ۰/۰۵ رسید و سپس توسط سیستم تزریق هوا به گاز خروجی موتور، مقدار مونو اکسید کربن از مقدار ۰/۰۵ درصد به مقدار ۰/۰۳ درصد کاهش یافته است. با افزایش دور موتور به میزان ۳۰۰۰ دور بر دقیقه در زمان ۵ دقیقه سوم مقدار مقدار تولید مونو اکسید کربن با تزریق هوا بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۲۶ درصد ثابت ماند. نتایج همچنین نشان داد که از دور ۲۵۰۰ دور بر دقیقه به بالاتر مقدار مونو اکسید کربن بعد از مدتی کار موتور کاهش و به کمتر از ۰/۰۳ درصد می‌رسد که در دورهای بالاتر از ۲۵۰۰ دور بر دقیقه جریان کار پمپ هوا قطع می‌گردد با این کار از داغ شدن کاتالیست نیز جلوگیری می‌شود (Anonymous, 2012). نتایج آزمایش فوق با یافته‌های پریچارد و همکاران همچنین ساتهیچ و لوگاناتهان که بیان نمودند تزریق هوا در خروجی اگزوز باعث کم شدن مقدار مونو اکسید کربن می‌شود تطابق دارد (Pritchard and Wai, 2015; Sathesh and Loganathan, 2017).

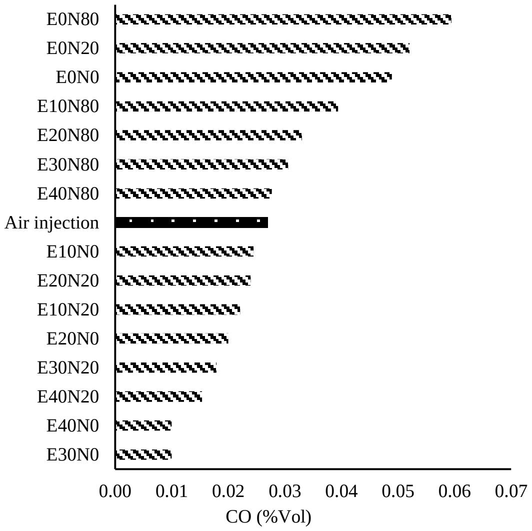


شکل ۱۴- اثر تزریق هوا به دود خروجی اگزوز و مقدار مونو اکسید کربن خروجی

Fig.14. The effect of air inlet to exhaust outlet smoke and the amount of carbon monoxide output

در واقعیت، عموماً از دورهای متفاوتی در موتور استفاده می‌شود، بنابراین برای بررسی بهتر، اثر سیستم تزریق هوا و ترکیب‌های متفاوت اتانول × نانو ذرات کربنی (که در بخش قبلی اثر معنی‌داری با هم در تولید CO داشتند)، بر روی مقدار مونو اکسید خروجی بررسی گردید که نتیجه آن در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود. با توجه به شکل استفاده از سیستم تزریق هوا به اگزوز قبل از کاتالیست نسبت به

بنزین خالی (E0N0)، ترکیب‌های مختلف N80 و همچنین اتانول صفر برتری دارد. همچنین مشاهده می‌شود با اضافه نمودن ۴۰ درصد اتانول به بنزین بدون افزودن نانوذرات کربنی، مقدار تولید مونو اکسید کربن زیر ۰/۰۱ می‌رسد و با سیستم تزریق هوا مقدار CO کمتر از ۰/۰۳ درصد است. مصرف بنزین با ppm ۲۰ نانو ذرات کربنی و در حضور ترکیبی از اتانول، مقدار CO خروجی بهتر از سیستم تزریق هوا می‌باشد. به‌طور کلی از روی این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که اتانول ۴۰ درصد در کاهش مقدار مونو اکسید کربن تاثیر بیشتری نسبت به مواد دیگر داشته است. همچنین با سیستم تزریق هوا بدون هیچ افزودنی به سوخت مقدار تولید گاز مونو اکسید کربن را می‌توان به کمتر ۰/۰۳ درصد رساند.



شکل ۱۵– مقایسه تولید مونو اکسید کربن تیمارهای مختلف نسبت به سیستم تزریق هوا در دور ۱۰۰۰ الی ۳۰۰۰ دور بر دقیقه موتور

Fig.15. Comparing the carbon monoxide production of deferent treatments with air injection at 1000 -3000 rpm engine speeds

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با مصرف سوخت ترکیب‌های مختلفی از بنزین – اتانول – نانو ذرات کربن در موتور بنزینی چهار زمانه که در بسیاری از سمپاش‌های پشتی، علف‌چین‌های دستی، پیپ‌های آب و بسیاری از وسایل کوچک کشاورزی استفاده می‌شود، می‌توان برخی از آلاینده‌های موتور را کاهش داد. افزودن ۲۰PPM نانو ذرات کربنی به سوخت بنزین باعث کاهش صدای موتور در دورهای بالا (۳۰۰۰ دور بر دقیقه) به مقدار ۵/۳٪ شد و در مجموع افزودن ۸۰ پی‌پی‌ام نانو ذرات کربنی به سوخت باعث کاهش صدای موتور می‌شود. از نظر احتراق کامل‌تر و تولید کمتر مونو اکسید کربن و هیدروکربن‌های نسوخته و همچنین افزایش دی‌اکسید کربن استفاده از ۳۰ الی ۴۰ درصد اتانول بدون نانو ذرات کربنی بهترین نتیجه را داشت به‌طوری‌که با اضافه نمودن ۱۰ درصد اتانول به بنزین مقدار مونو اکسید کربن تولیدی به نزدیک به ۰/۰۳ درصد و با اضافه نمودن ۴۰ درصد اتانول، مقدار میانگین مونو اکسید کربن تولیدی موتور به زیر ۰/۰۲ درصد رسید. افزایش دور موتور تاثیر معنی‌داری در کاهش مقدار اکسیژن خروجی از موتور و کاهش آلایندگی دارد. با افزایش مقدار نانو کربن به ۸۰ پی پی ام مقادیر خروجی مونو اکسید کربن و هیدروکربن افزایش می‌یابد. با اضافه نمودن ۲۰ پی‌پی‌ام نانو ذرات کربنی مقدار دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. همچنین با تزریق هوا و بدون هیچ افزودنی دیگر به بنزین مقدار تولید گاز مونو اکسید کربن در خروجی اگزوز کاهش یافت. توصیه می‌شود که مطالعات بیشتر در زمینه استفاده از نانوکربن‌ها با مقادیر مختلف به‌عنوان افزودنی سوخت و اثرات آن‌ها بر آلایندگی همراه با تفاسیر آماری بیشتر در انواع موتورهای بنزینی صورت گیرد و اثرات متقابل صفات مورد مطالعه، توسط روش‌های آماری از جمله تحلیل واریانس چند متغیره (MANOVA) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل بیشتر قرار گیرد.

سپاسگزاری

تمام مراحل این تحقیق در مرکز معاینه فنی شماره یک اهواز کد ۲۲۰۱ و هنرستان فنی و حرفه‌ای بیت المقدس اهواز انجام شده است. لذا مراتب تشکر و قدردانی از مساعدت‌های مدیریت و پرسنل این مراکز اعلام می‌گردد.

References

1. Abdel-Rahman, A. A., and M. M. Osman. 1997. Experimental Investigation on Varying the Compression Ratio of Si Engine Working Under Different Ethanol-Gasoline Fuel Blends. International Journal of Energy Research 21: 31-40.
2. Al-Hasan, M. 2003. Effect of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission. Energy Conversion and Management 44 (9): 1547-1561.
3. Anonymous. 2012. Injection vehicles-Advanced Diagnosis methods with the DIAG-Scanners. Mahad Sanat Publication, Print tenth, 135 PP.
4. Bashar, A. M. 2016. Study the performance and emissions of a spark ignition engine works with ethanol and petrol mixture. International Journal of Computation and Applied Sciences IJOCAAS 1 (2): 7-12.
5. Broatch, A., X. Margot, R. Novella, and J. Gomez. 2016. Combustion noise analysis of partially premixed combustion concept using gasoline fuel in a 2-stroke engine. Energy 107: 612-624.
6. Clifford, J., J. Mulrooney, G. Dooly, C. Fitzpatrick, E. Lewis, E. Merlone, and G. Flavia. 2008. On Board Measurement of Carbon Dioxide Exhaust Car Emissions Using A Mid-Infrared Optical Based Fibre, IEEE SENSORS, Conference, 914-918.
7. Dong, W., R. Hong, and T. Hui Lin. 2001. Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels. Atmospheric Environment 36 (3): 403-410.
8. Egúsquiza, J. C., S. L. Braga, and C. V. M. Braga. 2009. Performance and Gaseous Emissions Characteristics of a Natural Gas/Diesel Dual Fuel Turbocharged and Aftercooled Engine. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. XXXI (2): 140-150.
9. Elfasakhany, A. 2015. Investigations on the effects of ethanol methanole gasoline blends in a spark-ignition engine: Performance and emissions analysis. Engineering Science and Technology, an International Journal 18: 713-719.
10. Ettefaghi, E., S. S. Mohtasebi, H. Ahmadi, R. Soltani, and A. M. Rashidi. 2012. Effects of Nano-Particles on Properties of Engine Oil and its Functionality Rate on Wear Reduction. The Journal of Engine Research 24 (24): 3-12.
11. Gauch, H. G. 1992. Statistical Analysis of Regional Yield Trials. 1th edition, Elsevier Science. 278 PP.
12. Gershashbi, S. 2012. Introduction and Troubleshooting Injection, Multifunction and Electronics Systems of Peugeot 206, Iran. Kowsar Publications. 49 PP.
13. Ghari, M., B. Ghamari, and N. Bagheri. 2015. Determination of the optimal amount of nitrous oxide injected into the engine in order to reduce emissions. Journal of Agricultural Machinery 5 (2): 381-392. (In Farsi).
14. Han, S. B. A. 2014. Study on the performance and emissions characteristics of spark ignition engine fuelled with ethanol gasoline blended fuel, Journal of Energy Engineering 23 (2):170-174.
15. Kampa, M., and E. Castanas. 2008. Human health effects of air pollution. Environmental Pollution 151: 362-367.
16. Karthikeyan, S., A. Elango, and A. Prathima. 2014. An environmental effect of GSO methyl ester ZnO additive fuelled marine engine. Indian Journal of Geo-Marine Sciences 43 (4): 564-570.
17. Keskin, A. 2010. The Influence of Ethanol-Gasoline Blends on Spark Ignition Engine Vibration Characteristics and Noise Emissions. Energy Sources, Part A, 32: 1851-1860.
18. Kulkarni, A., and T. Ravi Teja. 2014. Automated System for Air Pollution Detection and Control in Vehicles, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering 3 (9): 12196-12200.
19. Lapuerta, A., M. Jose, A. Herreros, L. Lisbeth, A. Lyons, A. Contreras, and Y. Briceño. 2008. Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions. Fuel 87 (15): 3161-3169.
20. Lines, M. G. 2008. Nanomaterials for practical functional uses. Journal of Alloys and Compounds 449: 242-245.
21. Mansha, M., E. M. Shahid, and A. H. Qureshi. 2012. Control of Combustion Generated Emissions from Spark Ignition Engines: A Review, Pakistan Journal of Enginering and Applied Sciences 11: 114-128.
22. Mirzadeh, M. 2017. Using bioethanol as energy resource and decreasing the pollution of environment, Journal of Biosafety 2 (10): 53-70. (In Farsi).
23. Ogur, E., and S. Kariuki. 2014. Effect of Car Emissions on HumanHealthndthe Environment .International Journal of Applied Engineering Research 9: 11121-11128.
24. Ommi, F., K. Farhang, and A. Shafiei. 2009. Experimental Investigation of the Combustion of a Spark Ignition Engine, With Gasoline-Ethanol-MTBE Blends as Fuel, to Reduce Fuel Consumption and Pollutants. The Journal of Engine Research 16: 22-28.
25. Pang, X.; Y. Mu, J. Yuan, and H. He. 2008. Carbonyls emission from ethanol-blended gasoline and biodiesel-ethanol-diesel used in engines. Atmos. Environ 42: 1349-1358.
26. Pritchard, J., and C. K. Wai. 2015. The Effects of Secondary Air on the Exhaust Oxidation of Particulate Matters. SAE International Journal of Engines 8 (3):1-10.

27. Rizwanul Fattah, I. M., H. H. Masjuki, A. M. Liaquat, A. M. Ahizar Ramli Kalam, and V. N. Riazuddin. 2013. Impact of various biodiesel fuels obtained from edible and non-edible oils on engine exhaust gas and noise emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews 18: 552-567.
28. Sajith, V., C. B. Sobhan, and G. P. Peterson. 2010. Experimental Investigations on the Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Fuel Additives on Biodiesel. Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering, Article ID 581407: 1-6.
29. Sarkar, A., A. Chowdhuri, K. Jyoti Bhowal, and B. K. Mandal. 2012. The Performance and Emission Characteristics of SI Engine Running on Different Ethanol-Gasoline Blends. International Journal of Scientific & Engineering Research 3 (6): 2229-5518.
30. Sasongko, M. N., W. Wijayanti, and F. N. Damus. 2017. Exhaust emissions of 4 stroke spark ignition engine with indirect injection system using gasoline-ethanol fuel, Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology 4 (1): 44-49.
31. Sathesh, M., and V. N. Loganathan. 2017. Design of Secondary Air injection System in Lower CC Engines- A Review, International Research Journal of Engineering and Technology 4 (9): 1329-1333.
32. Smagowska, B. 2013. Effects of Ultrasonic Noise on the Human Body-A Bibliographic Review. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE) 19 (2): 195-202.
33. Sonthalia, A., C. Rameshkumar, U. Sharma, A. Punganur, and S. Abbas. 2015. Combustion and Performance Characteristics of a Small Spark Ignition Engine Fuelled With HCNG, Journal of Engineering Science and Technology 10 (4): 404-419.
34. Taghizadeh Alisaraei, A., and A. Rezaei Asl. 2016. The effect of added ethanol to diesel fuel on performance vibration combustion and knocking of a CI engine. Fuel 185: 718-733.
35. Tewari, P., E. Doijode, N. R. Banapurmath, and C. Yaliwal. 2013. Experimental investigations on a diesel engine fuelled with multiwalled carbon nanoparticles blended biodiesel fuels. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 3 (3): 72-76.
36. Thakur, A. K., A. K. Kavitib, R. Mehrac, and K. K. S. Merd. 2017. Progress in performance analysis of ethanol-gasoline blends on SI engine. Renewable and Sustainable Energy Reviews 69: 324-340.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall - Winter 2021, p. 213-230

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۲۳۰-۲۱۳

Studying some Pollutant Emissions of an Injection Gasoline Engine Using Mixed Fuel of Ethanol, Gasoline and Carbon Nanoparticles

M. Malek mohammadi[1], M. Rahnama[2*], S. Abdanan mehdizadeh[2], N. Kazemi[2]

Received: 02-12-2018
Accepted: 13-02-2019

Introduction

Due to the rapid growth in the urban population, the numbers of cars also have increased which resulted in an increase of pollution level in the urban areas of the developing countries. The pollutants emerging from combustion engines may include: carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbons (UBHC), oxide of nitrogen (NOx), oxides of sulfur (SOx), particulate matter (PM), soot, hydrogen, oxygen, traces of aldehydes, alcohols, ketons, phenols, acid, lead aerosol, etc., along with normal combustion products i.e. carbon dioxide (CO_2) and water vapors. In order to overcome the problems associated with the bio-fuel, the chemical substances like fuel additives derived from organic, inorganic metals were used. Fuel additives generally improve the combustion efficiency and reduce the pollution. Metallic based compounds, such as manganese, iron, copper, barium, calcium and platinum, etc., which have been used as a combustion catalyst for hydrocarbon fuels. Recent advances in nanoscience and nanotechnology enables production, control and characterization of nanoscale energetic materials. Nano materials are more effective than bulk materials because of its higher surface area. Another important advantage of nanoparticle is its size, because there is no chance for fuel injector and filter clogging as in the case of micron sized particles. Gan and Qiao, (2011) investigated the burning characteristics of fuel droplets containing nano and micron sized aluminum (Al) particles by varying its size, surfactant concentration and type of base fluid. Tyagi *et al.* (2008) conducted a study to improve the ignition properties of diesel fuel and investigated the influence of size and quantity of Al and Al_2O_3 nanoparticles in a diesel fuel. It was inferred that it shortens the ignition delay and increased the ignition probability of fuel. Finally, it was concluded that, the increase in heat and mass transfer properties of the fuel has the potential of reducing the evaporation time of droplets. In the present investigation, the effect of mixture of ethanol with gasoline and carbon nanotubes on emission characteristics was evaluated using Jatropha biodiesel in a compression in a spark ignition engine.

Materials and Methods

In this study, a mixture of ethanol with gasoline (at five levels, 0, 10, 20, 30 and 40%) as a renewable fuel and carbon nanoparticles (at three levels of 0, 20 and 80 ppm) as catalyst were used in spark ignition engine (in 1000, 2000 and 3000 rpm). Engine pollutants such as sound, carbon monoxide, unburnt hydrocarbons, carbon dioxide and oxygen output were measured. Furthermore, a device was designed and manufactured to measure and display the amount of carbon monoxide in the exhaust outlet; moreover, if the amount of carbon increased air compressor was activated to reduce carbon monoxide in the exhaust outlet.

Results and Discussion

The results showed that with increasing ethanol consumption, the amount of carbon monoxide and unburned hydrocarbons were reduced. Furthermore, the amount of produced oxygen and carbon dioxide increased. Also adding carbon nanoparticles to fuel caused the engine sound level decreased. According to the observation, carbon monoxide decreased while using an electronic device compare to the engine without a carbon monoxide controlling system. This depicts that implementation of carbon monoxide can be control and reduce which is very useful while engine is working under the close environments.

Conclusions

The use of alternative fuel, gasoline as well as the reduction of exhaust emissions in the spark ignition engine is of great importance. Therefore, in the present study five levels of ethanol (0, 10, 20, 30 and 40%) and three levels of carbon nanoparticles (0, 20 and 80 ppm) were mixed with gasoline and used in spark ignition engine at three rotation speed (in 1000, 2000 and 3000 rpm). According to the results, there is a reduction in carbon monoxide and unburned hydrocarbons and increasing carbon dioxide emission by using ethanol, because of its fuel bound O_2. Furthermore, 3.8% dB 54% reduction in sound and CO, respectively at 3000 rpm with E10 were observed.

Keywords: Carbon nanotubes, Ethanol, Pollutant, Sound, Spark ignition engine

1- MSc Student, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2- Assistant Professor, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran
(*- Corresponding Author Email: rahnamam2002@asnrukh.ac.ir)